



《大气污染防治原理》期末考试试题 2021 秋



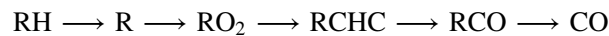
来自 Xzonn 的小站

更新于 2021-12-27 20:39 · 渲染于 2021-12-27 20:54

一、

试分析汽车发动机排气污染物 CO、HC、NO_x 的生成机理，影响因素及相互关系。

(1) CO：是燃油不完全的中间产物，当氧气不充足时会产生 CO，混合气浓度大及混合气不均匀都会使排气中的 CO 增加。燃料分子 RH（R 代表碳氢基）在燃烧过程中生成 CO 大致经历如下步骤：



CO 的生成量主要受空燃比、空气和燃料的混合程度、内壁的淬灭效应等的影响，燃烧终了时的 CO 浓度一般取决于燃气温度。

(2) HC：燃料中未燃烧的物质，由于混合气不均匀、燃料室壁冷等原因造成部分燃油未来得及燃烧就被排出去。

一般来自于燃料的不完全燃烧、壁面淬熄效应（温度较低的燃烧室壁面对火焰的迅速冷却）以及壁面油膜和积碳的吸附（未燃烧的 HC 在进气压缩时被壁面油膜或积碳吸附，在排气膨胀时释放出来）。

(3) NO_x 包含 NO 和 NO₂，其中大部分是 NO，少部分为 NO₂。

有三种 NO 的产生途径，分别是热力型 NO（影响因素有温度、O₂ 浓度和停留时间）、瞬时 NO（由碳氢化合物裂解出的 CH 和 CH₂ 等与 N₂ 反应，生成 HCN 和 NH 等中间产物，并经过生成 CN 和 N 的反应，最后生成 NO）和燃料型 NO（燃料中的氮化合物分解后生成 HCN 和 NH₃ 等中间产物，并逐步生成 NO）。

NO₂ 主要来源于 NO 与 O₂ 反应。

(3) 影响因素：

空燃比：稀薄燃烧条件下发动机燃烧效率高，生成的 HC 和 CO 浓度低，富燃时燃烧不完全，生成的 HC 和 CO 较多。过浓或过稀的空燃比都会降低燃烧速度和燃烧温度，使 NO 的生成量都有所下降。

点火提前角：对 CO 的生成量影响不大。但对 HC 和 NO_x 的影响较大。随着点火提前角的增加，HC 和 NO_x 生成物都会急剧增加。其原因与燃烧时的速度、压力、温度等有关，当点火提前角增大到一定值后，由于燃烧时间过短，HC 和 NO_x 生成值便有所下降，油油耗增大、工作不稳。

发动机转速及工况的影响：由于 NO_x 是高温燃烧时的生成物，当发动机的转速和负荷提高时，使气缸的燃烧温度升高。NO_x 生成量随之增大，CO 和 HC 的生成量稍有增加。但影响较小。碳颗粒和影响因素主要有空燃比、发动机的温度、转速和负荷以及燃烧室的形状。燃油的雾化情况等。发动机的温度、转速和负荷以及燃烧室的形状，燃油的雾化情况等。空燃比过浓，温度过低，均不利于燃油的雾化和燃烧，使碳微粒生成量增加；发动机转速和负荷增大，使燃烧温度提高。有利于完全燃烧，使碳微粒的生成量减少。

二、

Deutsch 公式建立在哪些假定基础上，分析其实际应用价值。并分析理论驱进速度与实际驱进速度的区别与联系。

(1) 假定基础：除尘器中气流为紊流状态；在垂直于集尘表面的任一横截面上粒子浓度和气流分布是均匀的；粒子进入除尘器后立即完成了荷电过程，忽略电风、气流分布不均匀、被捕集粒子重新进入气流等影响。

(PPT 上八条假定：

- 立刻荷电（全部）。
- 捕集层（ δ 厚），层内层流，主核心区为紊流。
- δ 定义：从集尘极表面到气流水平速度等于 v_0 的点之间的距离。
- 在捕集层内粒子是以前驱进速度 ω 穿过气流运动， ω 值不受气流速度影响，并决定于空间场强 E 。
- 气流紊流核心区，气流速度均匀，并等于平均气速 v_0 。
- 因素流和扩散力使中心核心区横向粒子浓度分布均匀，在这一区内驱进速度 ω 的影响被忽略，假定是径向混合。
- 粒子充分分散，相互斥力可忽略。
- 不存在干扰因素，如粒子返流、气流不均、反电晕等。)

(2) 实际应用价值：概括了分级除尘效率与集尘板面积、气体流量和颗粒驱进速度之间的关系，指明了提高电除尘器捕集效率的途径，因而在除尘器性能分析和设计中被广泛采用。

(3) 理论驱进速度与实际驱进速度：荷电粒子在电场力的作用下，向集尘极运动时，电场力与空气阻力很快就达到平衡，并向集尘极作等速运动，此时，粒子的驱进速度为：

$$\omega = \frac{QE_p}{3\pi\mu d_p}$$

当颗粒直径为 $2-50\ \mu\text{m}$ 时， ω 与颗粒直径成正比。然而在实际应用中，并不存在层流的理想条件。因此，理论驱进速度大于实际驱进速度。对于工业电除尘器，实际驱进速度一般在 $0.2-2\ \text{m/s}$ 的范围内，颗粒物粒径在 $0.1-0.5\ \mu\text{m}$ 的范围内。

三、

某厂 $90\ \text{m}^3$ 烧结机尾电除尘实测结果入口含尘 $C_{\text{in}} = 26.8\ \text{g/m}^3$ ，出口含尘 $C_{\text{out}} = 0.133\ \text{g/m}^3$ ，气流量 $Q = 44.3\ \text{m}^3/\text{s}$ 。该除尘器断面积 $F = 40\ \text{m}^2$ ，集尘板总面积 $A = 1982\ \text{m}^2$ 。用上述数据设计一个新的用于 $130\ \text{m}^2$ 烧结机尾电除尘器，要求除尘效率达到 99.8%，其烟气量为 $70.0\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

计算原电除尘器的除尘效率和有效趋近速度：

$$\eta = 1 - \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1 - \frac{0.133}{26.8} = 99.5\%$$

$$\omega_e = -\frac{Q}{A} \ln(1 - \eta) = -\frac{44.4}{1982} \ln(1 - 0.995)\ \text{m/s} = 0.119\ \text{m/s}$$

除尘器横断面风速（电厂风速）为：

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{44.4}{40} \text{ m/s} = 1.11 \text{ m/s}$$

新建电除尘器集尘板总面积为:

$$A = -\frac{\ln(1-\eta)}{\omega_e} Q = -\frac{\ln(1-0.998)}{0.119} \times 70.0 \text{ m}^2 = 3660 \text{ m}^2$$

可以按照标准选择 SHWB₆₀ 型, 那么集尘板总面积为 3743 m², 有效断面积为 63.3 m², 则除尘器的断面风速为

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{70.0}{63.3} \text{ m/s} = 1.1 \text{ m/s}$$

在 0.7-1.3 m/s 范围之内, 选型合适。

四、

有一布袋除尘器, 过滤面积 1000 m², 处理空气量为 10 m³/s, 含尘浓度 0.001 kg/m³, 假定 $K_1 = 2000 \text{ N s/m}^3$, $K_2 = 2500 \text{ s}^{-1}$, 如果 $\Delta P = 2000 \text{ N/m}^2$ 时必须清灰, 试求清灰周期。

由 $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, $A = 1000 \text{ m}^2$, 得到:

$$v_0 = \frac{Q}{A} = \frac{10}{1000} \text{ m/s} = 0.01 \text{ m/s}$$

根据公式 $\Delta P_f = K_1 v_0 + K_2 c v_0^2 t$, 得到:

$$t = \frac{\Delta p - K_1 v_0}{K_2 c v_0^2} = \frac{2000 - 2000 \times 0.01}{2500 \times 0.001 \times 0.01^2} \text{ s} = 7.92 \times 10^6 \text{ s} = 91.67 \text{ d}$$

五、

试从化学吸收理论角度分析提高湿式脱硫工艺效率的主要途径。

化学吸收法即使用二氧化硫与液相中的吸收剂反应, 降低其浓度, 增加气液两相的浓度差, 进而增加吸收推动力, 化学吸收的吸收速率不仅与二氧化硫在膜中扩散速率有关, 还与反应速率有关。

利用碱液吸收 SO₂, 使固体吸收剂与被吸收组分产生化学反应。化学吸收过程中, 被吸收的气体与吸收液发生化学反应, 有效地降低了溶液表面上的被吸收气体的分压。增加吸收过程的推动力, 即提高吸收效率又降低被吸收气体的液相分压。

湿式脱硫利用碱性吸收液吸收烟气中的二氧化硫, 目前应用最广泛的有石灰石/石灰法脱硫。调节系统运行因素加强对二氧化硫的吸收速率, 如钙硫比、气流速度、吸收塔结构等。

pH 值的影响: 低 pH 值有利于石灰石的溶解和 CaSO₃·1/2H₂O 的氧化, 而高 pH 值则有利于 SO₂ 的吸收。因此, 选择合适的 pH 值, 是保证系统良好运行的关键因素之一。

液气比: 提高液气比相当于增大了吸收塔内的喷淋密度, 使液气间的接触面积增大, 脱硫效率也将增大。但在实际工程中发现, 提高液气比将使浆液循环泵的流量增大, 从而增加设备的投资和能耗。同时, 高气液比还会

使吸收塔内压力损失增大，增大风机能耗。

烟气流速：提高烟气流速可提高气液两相的湍动，降低烟气与液滴间的膜厚度，减小气膜传质阻力，提高传质效果。另外，喷淋液滴的下降速度将相对降低，使单位体积内持液量增大，增大了传质面积，增加了脱硫效率。但气速增加，又会使气液接触时间缩短，脱硫效率可能降低。

烟气温度：吸收塔温度降低时，吸收液面上的 SO_2 的平衡分压也降低，有助于气液传质，脱硫效率增加。但温度过低会使 H_2SO_3 与 CaCO_3 或 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 间的反应速度降低，石灰石的溶解速度降低不利于吸收过程。

钙硫比：钙硫比增大，注入吸收塔内吸收剂的量也相应增大，引起浆液 pH 值上升，可增大中和反应的速率，增加反应的表面积，使 SO_2 吸收量增加，提高脱硫效率。

吸收剂原料：高纯度的吸收剂将有利于产生优质脱硫石膏。粒度越小，单位体积的表面积越大，利用率相对较高，有利于脱硫。过高的吸收剂纯度和过细的粒度会导致吸收剂制备价格上升，使系统运行成本增加。

石膏过饱和度：当超过某一相对饱和度值后，石膏晶体就会在悬浊液内已经存在的石膏晶体上生长。当相对饱和度达到某一更高值时，就会形成晶核，同时石膏晶体会在其它物质表面上生长，导致吸收塔浆液池表明结垢。此外，晶体还会覆盖未反应的石灰石颗粒表面，造成反应剂使用效率下降。

烟尘：飞灰在一定程度上阻碍了 SO_2 与脱硫剂的接触，降低了石灰石中 Ca^{2+} 的溶解速度，同时飞灰中不断溶出的一些重金属，如 Hg、Mg、Cd、Zn 等离子会抑制 Ca^{2+} 与 HSO_3^- 的反应。如果因除尘、除灰设备故障，引起浆液中的粉尘、重金属杂质过多，则会影响石灰石的溶解，导致浆液 pH 值降低，脱硫效率下降。

液滴直径：液滴直径减小，气液接触面积增大，有利于脱硫反应的进行；但减小液滴尺寸势必增大浆液循环系统的阻力，如增大循环泵压头，将使系统的投资运行费用增加。

含氧量：随着烟气中 O_2 含量的增加， $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的形成加快，脱硫率也呈上升趋势。当原烟气中氧含量一定时，可人为往吸收塔浆液中增加氧气，所以多投运氧化风机可以提高脱硫率。

气热交换器的漏风：会导致干净烟气被污染，影响最终的脱硫效果。通常气热换热器热原烟气泄漏到冷净烟气中的量占中流量的 3~5%。

六、

某排气系统中 SO_2 的浓度 $Y_{\text{SO}_2} = 50 \text{ g/m}^3$ ，在吸收塔中用水吸收 SO_2 ，吸收塔在 $t = 20^\circ\text{C}$ ， $P = 1 \text{ atm}$ 工况下工作，求水中可能达到的 SO_2 最大浓度。

排气系统中 SO_2 的比摩尔浓度为：

$$y = \frac{c}{1 - c} = \frac{22.4 \times 10^{-3} \times 50/64}{1 - 22.4 \times 10^{-3} \times 50/64} = 0.0178 \text{ kmol SO}_2/\text{kmol 空气}$$

查得 20°C ，总压 101.325 kPa 条件下 SO_2 在水中的亨利系数为 $E = 3550 \text{ kPa}$ ，于是其相平衡系数为

$$m = \frac{E}{P} = \frac{3550}{101.325} = 35.04$$

那么水中可能达到的 SO_2 最大浓度为：

$$x^* = \frac{y}{m} = \frac{0.0178}{35.04} = 5.08 \times 10^{-4} \text{ kmol SO}_2/\text{kmol 水}$$

七、

Estimate the combustion gas composition and quantity and concentrations of uncontrolled emissions anticipated from new 150-MW pulverized coal and cyclone-type boilers and assume the fuel is bituminous coal with the analysis given as following:

- (1) the ultimate analysis 79.90% carbon, 4.85% hydrogen, 0.69% Sulphur, 1.30% nitrogen, 6.5% ash, 6.7% oxygen.
- (2) 15% excess air, $T = 170^{\circ}\text{C}$.
- (3) for 100 MW, $340000 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{h}$ for flue gas quantity.

机翻：估算新的 150 MW 煤粉和旋风式锅炉的燃烧气体成分、数量和预计非受控排放物浓度，并假设燃料为烟煤，分析如下：

- (1) 最终分析为 79.90%的碳、4.85%的氢、0.69%的硫、1.30%的氮、6.5%的灰、6.7%的氧。
- (2) 15%过量空气， $T=170^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 对于 100 MW，烟气量为 $340000 \text{ N} \cdot \text{m}^3/\text{h}$ 。

列表：

	质量 (g)	相对原子质量	摩尔量 (mol)	归一化	需氧量 (mol)
C	79.9	12	6.658333333	1	6.658333333
H	4.85	1	4.85	0.728410513	1.2125
S	0.69	32	0.0215625	0.003238423	0.0215625
N	1.3	14	0.092857143	0.013946004	0
O	6.7	16	0.41875	0.062891114	-0.209375
ash	6.5				
				求和	7.683020833

燃料组成为 $\text{C}_{6.66}\text{H}_{4.85}\text{S}_{0.022}\text{N}_{0.093}\text{O}_{0.419}$ ，或 $\text{CH}_{0.73}\text{S}_{0.003}\text{N}_{0.014}\text{O}_{0.063}$ 。

燃烧后气体各组分占比：

	摩尔量 (mol)	百分比	相对分子质量	排放量 (t/h)	排放量 (g/m3)
CO_2	6.658333333	15.24%	44	152.6301587	184.4289529
H_2O	2.425	5.55%	18	22.74083432	27.47863395
SO_2	0.0215625	0.05%	64	0.718954212	0.868740317
N_2	33.44452013	76.53%	28	487.8711604	589.5136847
O_2	1.152453125	2.64%	32	19.21300935	23.21582594
求和	43.70186909				

烟气量为：

$$340000 \times \frac{150}{100} \times 443273 \text{ Nm}^3/\text{h} = 827582 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

以 CO_2 为例，计算烟气中的量：

$$340000 \times \frac{150}{100} \times 15.24\% \times \frac{44}{22.4 \times 10^{-3}} \text{ t/h} = 152.6 \text{ t/h}$$

浓度为：

$$\frac{152.6}{827582} \text{ g/m}^3 = 184.4 \text{ g/m}^3$$

八、

在填料塔内用纯水吸收氨，若单位塔体积的吸收速率可用下式表示：

$$-r_A = (-r'_A)a = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dn_A}{dt} = K_{GA}ap_A$$

式中， $K_{GA}a$ 为总传质系数，试求：

- (1) 如今假定在水中加入一种酸用来帮助吸收，设为瞬时反应，说明 $K_{GA}a$ 随浓度应如何变化。将 $K_{GA}a$ 对酸浓度进行描绘，并据此估算物理吸收的各个传质系数。
- (2) 已有在 25 °C 的数据如下：

$K_{GA}a$ (mol/(h·L·atm))	300	310	335	350	370	380
酸的浓度	0.4	1.0	1.5	2.0	2.8	4.2

- 从这些数据算出对空气中的氨进行物理吸收，气膜阻力在总传质阻力内所占的百分率。

用水吸收氨属于易溶气体的吸收，主要阻力在气膜中，其经验公式为：

$$K_{GA}a = 6.07 \times 10^{-4} G^{0.9} W^{0.39}$$

加入酸后为瞬时反应，表明 $K_{GA}a$ 随酸浓度升高而升高。

对于总传质过程，有：

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{1}{Hk_L}$$

式中：随着酸浓度不断增加， Hk_L 不断增加。 k_G 为定值。

按 (2) 中给出数据，求回归方程，截距为：

$$\frac{1}{k_G} = 0.002441$$

则 $k_G = 409.61 \text{ mol/(h·L·atm)}$ 。

在酸浓度为 1.0 时，所占百分率为：

$$\frac{\frac{1}{k_G}}{\frac{1}{K_G}} = 75.68\%$$

随酸浓度升高，气膜阻力占比升高。

